



Observaciones combinadas *XMM-Newton/Chandra* del remanente de supernova G306.3-0.9

A. Filócomo¹, J.A. Combi^{1,2}, F. García^{1,2}, A.E. Suárez^{1,2}, P.L. Luque-Escamilla³ & S. Parón⁴

¹ *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina*

² *Instituto Argentino de Radioastronomía, CONICET, Argentina*

³ *Departamento de Física, Universidad de Jaén, Jaén, España*

⁴ *Instituto de Astronomía y Física del Espacio, CONICET-UBA, Argentina*

Contacto / agostina.filocomo@gmail.com

Resumen / En este trabajo se estudia la distribución espacial y espectral de las propiedades físicas y químicas del remanente de supernova G306.3-0.9 usando datos de los telescopios de rayos X *XMM-Newton* y *Chandra*. Los datos a altas energías se complementaron con información en radio e infrarrojo, necesarios para estudiar la morfología de la fuente y el efecto de onda de choque en el medio interestelar circundante. En los resultados se observa que la emisión tiene morfología no uniforme, dominada por radiación térmica con valores altos de Ne, Mg, S, Ca, Ar y Fe en la región central, típicos de material eyectado. Además, usando la distribución del flujo en el infrarrojo, se pudo restringir fuertemente el tipo de progenitor responsable del fenómeno de supernova.

Abstract / In this paper we study the spatial and spectral distribution of the physical and chemical properties of the supernova remnant G306.3-0.9 by using data of the X-rays telescopes *XMM-Newton* and *Chandra*, which we complement with radio and infrared information in order to study the morphology of the source and the effect of the shock wave in the interstellar medium. The results show a non-uniform morphology of the emission, dominated by thermal radiation with high values of Ne, Mg, S, Ca, Ar and Fe in the central region, typical of ejecta material. Also, using an infrared flux distribution, we could restrict the type of the progenitor responsible of the supernova phenomena.

Keywords / ISM: individual objects: G306.3-0.9 — IMS: supernova remnants — X-rays: ISM — radiation mechanisms: thermal

1. Introducción

Las supernovas representan el punto final de la evolución estelar. Estas expulsan una gran cantidad de material, produciendo un profundo impacto en el medio interestelar. La interacción del frente de choque del remanente de supernova (SNR por sus siglas en inglés) con el medio afecta severamente la dinámica de la Galaxia. Como resultado, podemos observar remanentes de supernova con distintos tipos de morfología en longitudes de onda de radio, infrarrojo y rayos X. El SNR G306.3-0.9, recientemente descubierto con el telescopio Swift (Reynolds et al., 2012), es un interesante candidato para estudiar cómo se origina la morfología de estos objetos y mejorar el conocimiento de las propiedades físicas y químicas del plasma responsable de la emisión en rayos X. Para tal propósito, se utilizaron datos de los telescopios espaciales *XMM-Newton* y *Chandra*, complementados con la información disponible en radio e infrarrojo.

2. Observaciones de rayos X y reducción de datos

Para el estudio en rayos X se usaron datos combinados de los telescopios *XMM-Newton* y *Chandra*. De las observaciones de *XMM-Newton* se utilizaron los datos obtenidos con la *European Photon Imaging Camera*

(EPIC), que consiste en tres detectores: dos cámaras MOS (Turner et al., 2001) y una PN (Strüder et al., 2001), que operan en el rango 0.2–15 keV. Para la calibración y reducción de datos se utilizó la versión 14.0.0 de SAS (*Science Analysis System*). Las observaciones de *Chandra* se realizaron con la cámara ACIS (*Advanced CCD Image Spectrometer*), la cual opera en el rango de energía 0.1–10 keV. Las observaciones fueron calibradas con el paquete CIAO, usando CALDB (versión 4.6.7).

2.1. Imágenes de rayos X

En la Fig. 1 se muestran tres imágenes obtenidas con *XMM-Newton* de la emisión de rayos X en tres bandas de energía: blanda (0.5–1.0 keV), media (1.0–2.0 keV) y dura (2.0–4.5 keV), con contornos de radio a 843 MHz superpuestos (Whiteoak & Green, 1996). Como puede verse, la emisión de rayos X es intensa en las tres bandas mencionadas.

La mayor resolución espacial de *Chandra* ha permitido detectar con mayor certeza tres fuentes puntuales situadas dentro del SNR (Fig. 2). Una de ellas está ubicada en la zona norte del remanente, donde la emisión es débil y difusa (indicada en la imagen como “PS N”); otra está localizada cerca del centro geométrico de la fuente (indicada como “PS C”), y la última está en la zona sur del remanente (indicada como “PS S”).

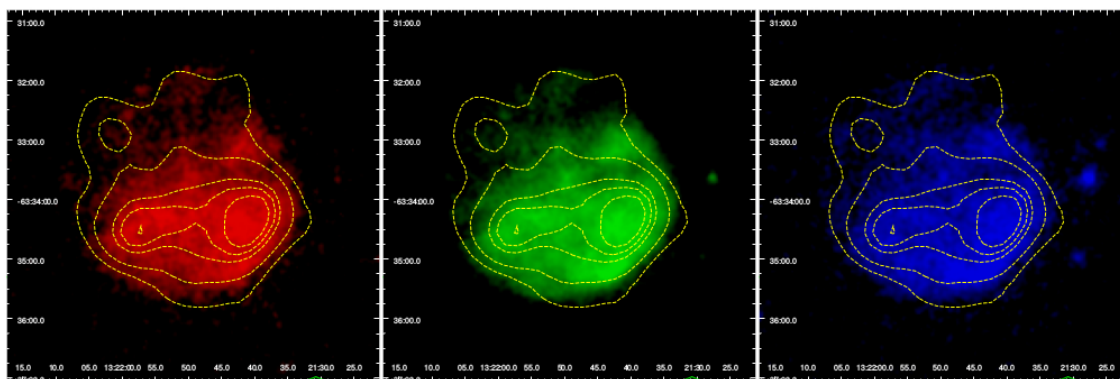


Figura 1: Izq.: Energías blandas en rayos X (0.5–1.0 keV) en rojo. Centro: Energías medias en rayos X (1.0–2.0 keV) en verde. Der.: Energías duras en rayos X (2.0–4.5 keV) en azul.

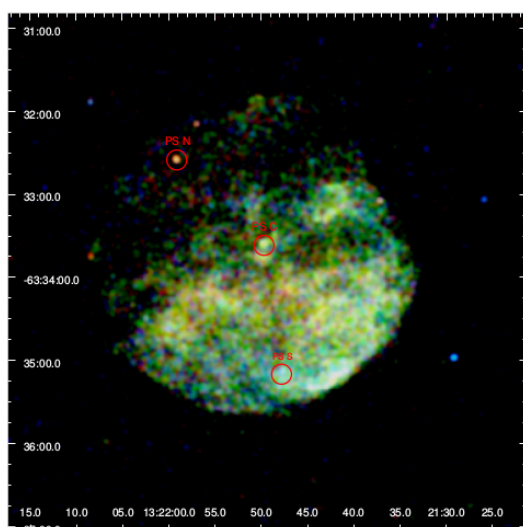


Figura 2: Imagen de *Chandra* en rayos X en tres bandas de energía: blandas (0.5–1.0 keV) en rojo, medias (1.0–2.0 keV) en verde, y duras (2.0–4.5 keV) en azul.

Dos de estas fuentes puntuales, PS N (dominante en la banda de energías duras de los rayos X) y PS C (dominante en la banda de energías medias de rayos X), coinciden con dos fuentes detectadas en el infrarrojo (Cutri et al., 2003). Por otro lado, la fuente PS S es dominante en la banda de energías duras de rayos X.

2.2. Análisis espectral en rayos X

Se extrajeron espectros de dos regiones: una región circular de $2'$, o región central, y un anillo con radios entre $2'$ y $3'$, o región externa (ver Figs. 3 y 4). Estos fueron extraídos con las tres cámaras de *XMM-Newton* en intervalos de 16 cuentas s^{-1} intervalo $^{-1}$. Las líneas sólidas indican el modelo del mejor ajuste: un modelo térmico VNEI (*variable-abundance non-equilibrium ionization*, Borkowski et al. 2001) modificado por un modelo de absorción interestelar PHABS (*photoelectric absorption*, Balucinska-Church & McCammon 1992). En la región central se observan líneas de emisión de S, Ar, Ca y una intensa línea de Fe, típica de materiales eyecc-

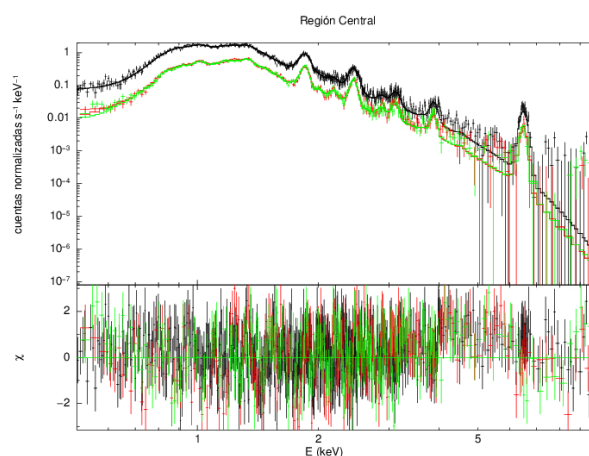


Figura 3: Espectro de la región central obtenido con *XMM-Newton*. La línea sólida indica el mejor ajuste del modelo VNEI. El gráfico inferior muestra los residuos de χ^2 .

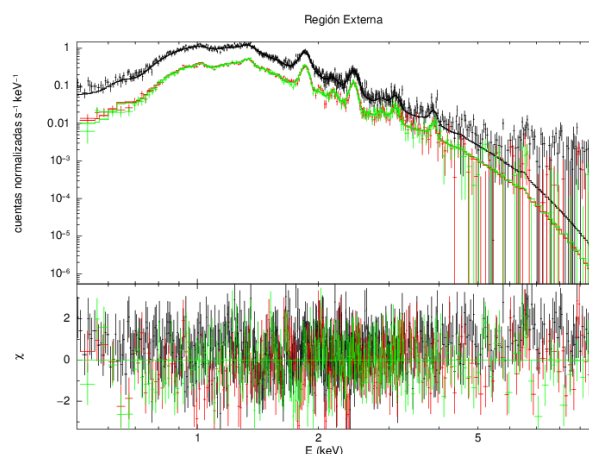


Figura 4: Espectro del anillo exterior de la región obtenido con *XMM-Newton*. La línea sólida indica el mejor ajuste del modelo VNEI. El gráfico inferior muestra los residuos de χ^2 .

tados (Yamaguchi et al., 2012). Por otra parte, en la región exterior se observan abundancias subsolares de Ne, Mg y Fe, y líneas de emisión relativamente fuertes de Ar y Ca. El resto de los elementos se fijaron en va-

Tabla 1: Parámetros espectrales de la radiación difusa de la emisión en rayos X de las regiones central y externa^a.

Parámetros	Central	Exterior
n_H [10^{22} cm^{-2}]	$1.01^{+0.02}_{-0.02}$	$0.92^{+0.03}_{-0.02}$
kT [keV]	$0.79^{+0.02}_{-0.03}$	$1.01^{+0.03}_{-0.03}$
Ne [N_{\odot}]	1.0	$0.37^{+0.06}_{-0.04}$
Mg [Mg_{\odot}]	$0.40^{+0.04}_{-0.02}$	$0.35^{+0.03}_{-0.03}$
Si [Si_{\odot}]	$1.10^{+0.03}_{-0.04}$	$0.80^{+0.03}_{-0.03}$
S [S_{\odot}]	$2.35^{+0.04}_{-0.09}$	$1.41^{+0.06}_{-0.05}$
Ar [Ar_{\odot}]	$3.10^{+0.25}_{-0.22}$	$1.88^{+0.20}_{-0.21}$
Ca [Ca_{\odot}]	$11.95^{+1.15}_{-0.92}$	$5.55^{+0.81}_{-0.43}$
Fe [Fe_{\odot}]	$1.03^{+0.11}_{-0.06}$	$0.46^{+0.04}_{-0.04}$
τ [$10^{11} \text{ s cm}^{-3}$]	$2.45^{+0.20}_{-0.28}$	$0.93^{+0.08}_{-0.09}$
norm [10^{-3}]	$6.35^{+0.16}_{-0.10}$	$5.16^{+0.28}_{-0.15}$
$E_{1.23}$ [keV]	$1.23^{+0.01}_{-0.01}$	$1.21^{+0.01}_{-0.01}$
σ [keV]	$0.15^{+0.01}_{-0.01}$	$0.17^{+0.01}_{-0.01}$
norm [10^{-4}]	$9.86^{+0.21}_{-0.47}$	$6.80^{+0.46}_{-0.38}$
$E_{6.49}$ [keV]	$6.49^{+0.01}_{-0.01}$	—
σ [keV]	$0.07^{+0.01}_{-0.01}$	—
norm [10^{-6}]	$5.60^{+0.38}_{-0.38}$	—
$\chi^2 / \text{g.d.l.}$	1.08 / 1500	1.12 / 1637
flujo (0.5–1.0 keV)	3.64 ± 0.02	2.66 ± 0.03
flujo (1.0–2.0 keV)	17.90 ± 0.04	14.62 ± 0.06
flujo (2.0–10.0 keV)	8.13 ± 0.06	7.64 ± 0.08
flujo total (0.5–10.0 keV)	29.60 ± 0.01	24.90 ± 0.02

^aLa normalización está definida como $10^{-14}/(4\pi D^2) \times \int n_H n_e dV$, donde D es la distancia en cm, n_H es la densidad de hidrógeno [cm^{-3}], n_e es la densidad de electrones [cm^{-3}], y V es el volumen [cm^3]. Los errores de los valores son $1-\sigma$ y los flujos están dados en unidades de $10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Las abundancias están dadas relativas a los valores solares de Anders & Grevesse (1989).

lores solares ya que eran insensibles al ajuste realizado. El análisis espectral confirma la naturaleza térmica del plasma en emisión hallado por Reynolds et al. (2013). En cuanto a las temperaturas, en la región central se encontró un valor de $0.79^{+0.02}_{-0.03}$ keV, el cual es menor al hallado para la región exterior, $1.01^{+0.03}_{-0.03}$. Las barras de error tienen un nivel de confianza del 90 % y fue utilizado el test estadístico χ^2 . Los parámetros del mejor ajuste de los espectros son presentados en la Tabla 1.

3. Discusión

A partir del análisis espectral del SNR se observan líneas de emisión características de elementos metálicos, confirmando el origen térmico de la emisión. Por otro lado, los valores de las abundancias hallados en la región central favorecen la idea de un progenitor de tipo Ia; la región exterior, por su parte, muestra abundancias por debajo del valor solar, sugiriendo que la emisión es consecuencia de la interacción de la onda de choque con el

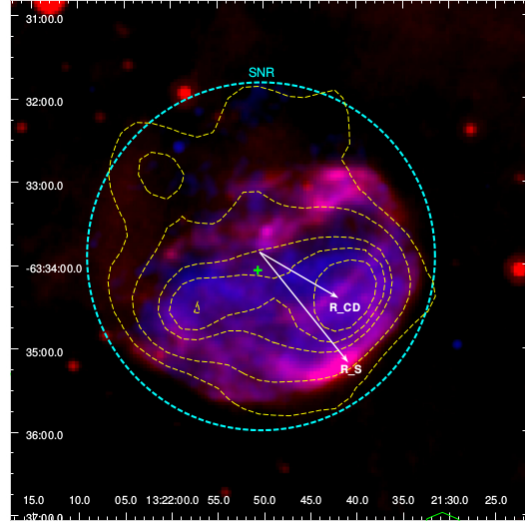


Figura 5: Imagen compuesta de emisión en radio (contorno punteado amarillo), infrarrojo (en rojo) y rayos X (en azul).

medio interestelar.

En la Fig. 5 se muestra una imagen compuesta de tres bandas del espectro electromagnético (ondas de radio en contornos amarillos punteados, infrarrojo en rojo y rayos X en azul), que permite introducir un posible marco astrofísico para describir la evolución del remanente.

La morfología observada en el infrarrojo junto con la localización de material eyectado (Fe) ha permitido identificar la ubicación del punto de discontinuidad de contacto, región que indica la posición de la onda de choque inversa (*reverse shock*). La distancia desde el choque externo resulta ligeramente mayor que el esperado para una expansión en un medio uniforme, sugiriendo que el remanente pasó la mayor parte de su tiempo en un medio más denso. Esto último explica la morfología semicircular observada a distintas longitudes de onda. Se necesitan observaciones más profundas en frecuencias de radio y rayos X para confirmar la presencia de un objeto puntual (el remanente compacto) inmerso en la región central del SNR.

Referencias

- Anders E., Grevesse N., 1989, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 197
 Balucinska-Church M., McCammon D., 1992, *ApJ*, 400, 699
 Borkowski K. J., Lyerly W. J., Reynolds S. P., 2001, *ApJ*, 548, 820
 Cutri R. M., et al., 2003, *VizieR Online Data Catalog*, 2246
 Reynolds M. T., et al., 2013, *ApJ*, 766, 112
 Reynolds M. T., et al., 2012, *The Astronomer's Telegram*, 3963, 1
 Strüder L., et al., 2001, *A&A*, 365, L18
 Turner M. J. L., et al., 2001, *A&A*, 365, L27
 Whiteoak J. B. Z., Green A. J., 1996, *A&AS*, 118, 329
 Yamaguchi H., et al., 2012, *ApJ*, 749, 137